



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08005528 A**(43) Date of publication of application: **12.01.96**

(51) Int. Cl. **G01N 1/28**
H01J 37/20
H01J 37/28
H01J 37/30
H01J 37/31

(21) Application number: **06141852**(71) Applicant: **SHARP CORP**(22) Date of filing: **23.06.94**(72) Inventor: **YASUO FUMITOSHI**

(54) **FOCUSED ION BEAM APPARATUS FOR
 PRODUCING CROSS-SECTION SAMPLE FOR
 TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPE AND
 METHOD FOR PRODUCING THE SAMPLE**

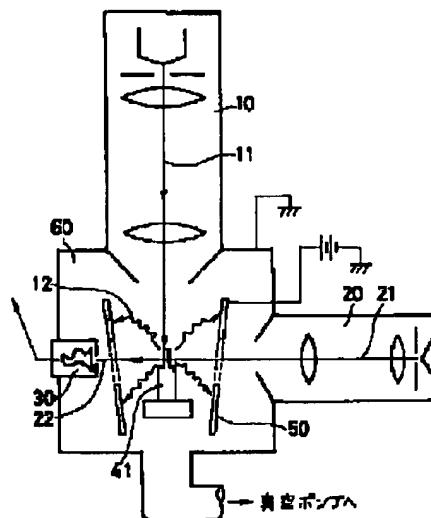
the vicinity of a position for fixing the sample 41 to surround the sample 41 for absorbing secondary electrons 12 generated by the ion beam 11 and the electron beam 21.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

PURPOSE: To provide a focused ion beam apparatus, for producing a cross-section sample for a transmission electron microscope and a method for producing the sample Wherein a thickness of a worked surface of the sample for the transmission electron microscope can be quantitatively monitored to automatically detect a work finishing point with an optimum sample thickness and further uniformity in thickness of a part being worked can be easily determined.

CONSTITUTION: A focused ion beam apparatus comprises a working chamber 60 with a cross-section sample 41 for a transmission electron microscope placed, an ion gun 10 for emitting an ion beam 11 to the sample 41 placed in the working chamber 60, an electron gun 20 for emitting an electron beam 21 to a worked part of the sample 41 at an angle of approximately 90° with respect to the ion beam 11 emitted from the ion gun 10, a transmission electron detector 30 placed oppositely to the electron gun 20 for receiving the electron beam which has transmitted through the sample 41 to detect a current amount of the electron beam which has transmitted, and a low voltage electrode 50 placed in



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-5528

(43) 公開日 平成8年(1996)1月12日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 N	1/28			
H 0 1 J	37/20	Z		
	37/28	Z		
	37/30	Z	9172-5E	

G 0 1 N 1/28

F

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-141852

(22) 出願日 平成6年(1994)6月23日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 安尾 文利

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

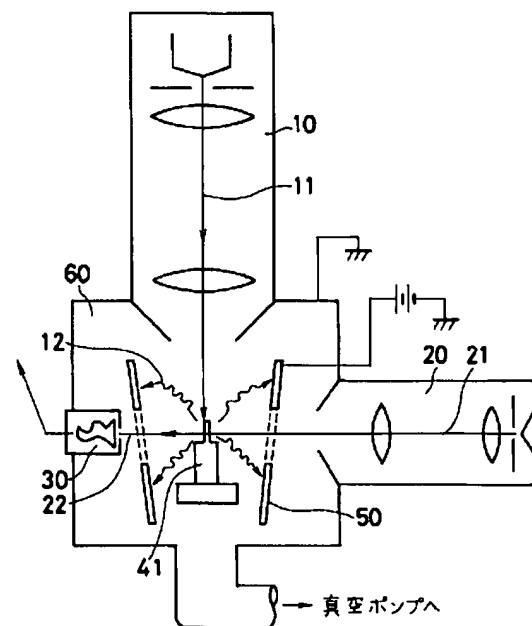
(74) 代理人 弁理士 川口 義雄 (外1名)

(54) 【発明の名称】 透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置及び透過電子顕微鏡用断面試料作成方法

(57) 【要約】

【目的】 透過電子顕微鏡用試料の加工面の厚さを定量的にモニターして最良の試料厚さで自動的に加工終了点を検出でき、更に加工中に加工部の厚さの均一性が容易に判断できる透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置及び試料作成方法を提供する。

【構成】 透過電子顕微鏡用断面試料 4 1 を配置する加工室 6 0 と、加工室 6 0 に配置された試料 4 1 にイオンビーム 1 1 を発射するイオン銃 1 0 と、イオン銃 1 0 から発射されるイオンビーム 1 1 に対して約 9 0 度の角度で試料 4 1 の加工部分に電子ビーム 2 1 を照射する電子銃 2 0 と、該電子銃 2 0 に対向して配置されかつ試料 4 1 を透過した電子ビームを受けて透過した電子ビームの電流量を検出する透過電子検出器 3 0 と、前記試料 4 1 を固定する位置の近傍に試料 4 1 を囲むように配置され、かつイオンビーム 1 1 及び電子ビーム 2 1 により発生する 2 次電子 1 2 を吸収する低電圧電極 5 0 とが配設されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 透過電子顕微鏡用断面試料を作成するためのイオンビームを発射するイオン銃手段と、該イオン銃手段から発射されるイオンビームに対して60度～90度程度の角度で前記透過電子顕微鏡用断面試料の加工部分に電子ビームを照射する電子銃手段と、該電子銃手段に対向して配置されかつ前記透過電子顕微鏡用断面試料を透過した電子ビームを受けて透過した電子ビームの電流量を検出する検出手段とを具備する透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置。

【請求項2】 前記透過電子顕微鏡用断面試料を固定する位置の近傍に、イオンビーム及び電子ビームの照射により発生した2次電子を吸収する電極手段を具備する請求項1記載の透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置。

【請求項3】 透過電子顕微鏡による断面観察を必要とする試料を透過電子顕微鏡に装着可能な厚さに切断する工程と、イオンビームによって更に観察領域を薄くする工程と、前記イオンビームで薄膜化を進めながら前記試料の加工部に電子ビームを照射する工程と、前記試料を透過する電子ビームの電流量を検出する工程と、前記検出した電流量に基づき前記試料の加工部を前記電子ビームにより走査して加工部の厚さの均一性を評価する工程とを具備する透過電子顕微鏡用断面試料作成方法。

【請求項4】 透過電子顕微鏡による断面観察を必要とする試料を透過電子顕微鏡に装着可能な厚さに切断する工程と、イオンビームによって更に観察領域を薄くする工程と、前記イオンビームで薄膜化を進めながら前記試料の加工部に電子ビームを照射する工程と、前記試料を透過する電子ビームの電流量を検出する工程と、前記検出した電流量に基づき前記試料の加工終了点を検出する工程とを具備する透過電子顕微鏡用断面試料作成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置及び透過電子顕微鏡用断面試料作成方法に関し、特に、LSIチップの不良箇所等の特定微小部の透過電子顕微鏡用断面試料を作成する透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置及び透過電子顕微鏡用断面試料作成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】最近、LSIデバイスの微細化やLSI材料薄膜化に伴い、LSIデバイス性能を決定する微細構造の観察評価が極めて重要である。特に、トランジスタのゲート絶縁膜には数nm厚の極薄膜も採用され、こうした微細構造の観察評価にはコンマ数nm以下程度の高い空間分解能が必要とされている。また、LSIデバイスの微細トランジスタのリークの原因となり、様々な不良を引き起こす結晶欠陥の評価も、LSIの性能向上や歩留まり向上において極めて重要である。これらの目

的に対応できる唯一の評価装置として透過電子顕微鏡(TEM)がある。

【0003】透過電子顕微鏡は、0.2nm程度という高分解能観察評価装置の中でも最も高い空間分解能を有しており、極薄膜化されたLSIゲート絶縁膜等まで観察評価できる唯一の手段である。また、結晶欠陥を高い空間分解能で直接観察できるのも透過電子顕微鏡だけである。更に、透過電子顕微鏡は、観察だけでなくX線マイクロアナライザー(EPMA)等との複合化で1nm程度の空間分解能での元素分析が可能であり、他の分析方法の中で最も空間分解能の高いオージェ電子分光分析法(AES)と比較しても1/20程度の空間分解能を有しており、微細化の進むLSIデバイス解析において極めて有用な解析手法に位置付けされている。

【0004】透過電子顕微鏡による観察評価には、試料を透過した電子線の投影像が用いられる。このため、透過電子顕微鏡用の試料は電子線を透過できる厚さに加工する必要がある。具体的には、500nm以下程度の薄膜化が必要であり、特に結晶構造等を評価するための高分解能観察を行うには試料を100nm以下程度まで薄膜化する必要がある。

【0005】一般に、LSIの透過電子顕微鏡用試料作成は機械的に試料を薄くした後に、イオンビームで最終の薄膜化が行われているが、これは広い範囲に形成された薄膜や、同一形状が繰り返されるLSIパターンの任意の場所を対象とした場合であり、微細化されたLSIの特定箇所、例えば故障トランジスタやオープンコンタクト等を評価する場合、薄膜化の加工部の位置がずれると観察評価箇所が失われる虞があるため、透過電子顕微鏡用試料作成では1μm以下の位置精度で特定箇所を薄膜化する必要がある。これには、単純な機械研磨とイオンビーム加工では対応が不可能であり、幾つかの試料加工方法が案出されている。

【0006】以下、LSIチップの不良箇所等の特定微小部の断面の透過電子顕微鏡観察や分析を行うための透過電子顕微鏡用試料を機械研磨により加工する方法について図4a～図4gを用いて説明する。

【0007】(1-1)顕微鏡を具備したレーザマーカあるいは集束イオンビーム装置等により、図4aに示すように、透過電子顕微鏡観察を所望する特定微小部42周辺に穴開けによりマーキング43を行う。なお、特定微小部42がマーキング43のためのレーザやイオンビーム照射の熱的影響や穴開けの飛散物汚染を受けないように、マーキングは特定微小部42から20μm程度以上離れた位置に行うとよい。マーキングの大きさや深さについては、後の加工での位置確認の点では大きいほどよい反面、マーキングの際の熱や飛散物を抑える必要性から大きさは5μm以下程度、深さは1～5μm程度が良いと考えられる。試料加工に実体顕微鏡等の低倍率顕微鏡を用いる必要がある場合には、前記マーキング

に加えて特定微小部42から更に40 μm 以上離れた位置に大きさ10 μm 程度のマーキングを追加するとよい。

【0008】(1-2)表面保護のため試料41の表面にガラス44を貼着する。

【0009】(1-3)マーキングを参考にして、ダイシングマシンの高速回転外周刃61により観察または分析を所望する特定微小領域周辺を透過電子顕微鏡に導入可能な1.5mm \square 以下程度に切断する。この際、切断面としては、図4b、4cに示すように、透過電子顕微鏡用の試料41の観察または分析を所望する断面と平行な面及びこれに垂直な面を選択する。試料41の観察/分析を所望する断面に垂直な方向の切断幅は、狭いほうが次の研磨で時間短縮できるため、切断時に観察または分析を所望する特定微小部42が破損しない範囲、例えば100~200 μm 幅で狭く切断する。

【0010】(1-4)試料41の観察または分析を希望する断面と平行な二つの切断面を、図4d、4eに示すように、研磨治具70と回転研磨盤71とにより機械研磨する。この際、マーキングを参考にして一側面が観察/分析を希望する特定微小部42に対して10 μm 程度の距離になるまで研磨する。試料41の一側面と対向する他側面を特定微小部42から70 μm 程度の距離になるまで研磨する。これによって研磨面の間隔である試料41の幅は80 μm 程度になる。なお、ここまでの研磨は、比較的研磨速度の速い5~15 μm 程度の研磨粒を用いる。特定微小部42に近い試料41の一側面である研磨面は、この段階で更に細かい1 μm 以下の研磨粒を用いて鏡面仕上げを行う。

【0011】(1-5)試料41を、図4fに示すように、特定微小部42から遠い試料41の他側面である鏡面仕上げをしていない研磨面を上にして回転ステージ73上に固定し、回転研磨ディスク72により観察/分析所望部を中心にティンブルグラインダー研磨する。ティンブルグラインダー研磨は、まず5~10 μm の研磨材を用いて分析/観察希望部付近の厚さが20~30 μm になるまで研磨する。それから、1 μm 以下の研磨粒を用いて分析/観察希望部の鏡面仕上げを行う。

【0012】(1-6)試料41の分析/観察希望部を中心に、図4gに示すように、透過電子顕微鏡用メッシュ80に貼る。

【0013】(1-7)イオンミリング装置により両面よりイオンミリングし、500nm以下の厚さを得る。

【0014】(1-8)透過電子顕微鏡により試料41の観察分析を行う。

【0015】次に、特開平2-132345号公報及び特開平5-180739号公報に開示されている集束イオンビーム装置による透過電子顕微鏡用試料の加工方法について図5a~図5gを用いて説明する。

【0016】(2-1)前述の(1-1)、(1-3)

と同様の方法により、図5a~図5cに示すように、試料にマーキングを行うと共に試料41の切断を行う。必要に応じて更に試料の観察/分析希望領域を、図5dに示すように、ダイシングマシンの高速回転外周刃61により薄く削る。

【0017】(2-2)集束イオンビーム装置により観察/分析希望の特定微小部42付近に集束イオンビーム11を、図5e、5fに示すように、試料表面方向より照射する。この際、集束イオンビーム11は、図5gに示すように、観察/分析希望断面と平行な一辺を有する長方形領域81、82にラスタ走査し、この領域をスパッタエッチングする。集束イオンビーム11のビーム電流やビーム径等を適当に選択しながらラスタ走査領域を徐々に観察/分析希望断面に近付け、図5fに示すように、断面加工を行う。この加工を観察/分析希望の特定微小部42の両側から行うことでこの微小部の薄膜化を行い、透過電子顕微鏡の試料とする。

【0018】なお、集束イオンビーム11は、図6(c)に示すように、逆円錐形であり、試料表面に対して垂直にビーム照射すると、垂直断面が得られない。よって、図6(c)に示すように、試料41を所定角度 θ だけ傾けて垂直断面を得る。この角度 θ は集束イオンビーム装置や加工条件によって異なるため、事前に条件出しを行う必要があり、一般的には3~5度程度の傾斜で加工が行われている。また、実際の加工の際には、断続的に加工を中断し、加工形状を集束イオンビームによる2次イオン像や2次電子像観察、走査型電子顕微鏡に試料を移しての観察、電子線照射機能を有する集束イオンビーム装置では装置内にて電子線照射による2次電子像観察等によって評価し、不具合があれば集束イオンビームの調整や条件変更、試料の角度調整を適宜行う。

【0019】(2-3)試料41の分析/観察希望部を中心に、図5gに示すように、透過電子顕微鏡用メッシュ80に貼る。

【0020】(2-4)透過電子顕微鏡により試料41の観察分析を行う。

【0021】集束イオンビーム加工の終了点は以下の方法により決定する。

【0022】(1)イオンビーム照射によって得られる2次イオン像や2次電子像等で加工部の形状観察を行い、加工部の厚さを観察像から判断し、加工終了点を決定する。なお、画像分解能は数十nmである。

【0023】(2)集束イオンビーム加工と走査型電子顕微鏡観察とを交互に行い、走査型電子顕微鏡による加工部の観察像から加工部の厚さを判断し、加工終了点を決定する。あるいは、集束イオンビーム加工と走査型電子顕微鏡観察とを交互に行い、透過電子顕微鏡観察像の解像度から試料完成度を判定する。

【0024】(3)特開平4-76437号公報に開示されているように、イオン銃とは別に電子銃を具備した

集束イオンビーム装置あるいはイオン銃を使って電子ビームが照射できる集束イオンビーム装置においては、集束イオンビーム装置内で集束イオンビーム加工と電子ビームによる観察を交互に行い、観察像から加工部の厚さを判断し、加工終了点を決定する。

【0025】

【発明が解決しようとする課題】従来の機械研磨による透過電子顕微鏡用試料の加工方法では、観察評価を希望する微小部に対して加工位置精度が機械研磨の段階で数 μm であり、LSIの不良箇所を観察するための加工に必要な $1\mu\text{m}$ 以下の精度が得られない。

【0026】従来の集束イオンビーム装置による透過電子顕微鏡用試料の加工方法では、集束イオンビームによる2次イオン像や2次電子像観察で加工形状を評価する場合、あるいは集束イオンビームによる2次イオン像や2次電子像観察で加工面の厚さを評価して加工終了点を判断する場合、加工目標厚さが数十～百数十nmであるのに対して、集束イオンビームのビーム系が最小で100nm程度であり、得られる2次イオン像や2次電子像の分解能もイオンビーム径に準じるため、画像上で正確な厚さの判断が難しく、試料作成の成功率が低くなる。集束イオンビームでの観察は加工と交互に行うため、加工終了点を超過して加工する虞がある。逆円錐状の集束イオンビームで断面加工を行うため、図6(c)に示すように試料を傾斜させて加工するが、集束イオンビームの調整ばらつき等から加工毎に加工断面は表面に対して垂直な面からずれてしまう。例えば、加工面両面の角度が2度傾斜している場合、最表面の各部の幅に対して3 μm 深さの位置では厚さは100nmのずれが生じる。この状態で最表面9にて加工部の幅が目標の100nmに達した場合、傾きの方向によって3 μm の深さでは200nmの幅もしくは0nmとなり、穴が開くことになる。深さ3 μm はLSIデバイス構造の表面からの厚さに相当する。また、加工部の幅が200nmでは、格子像観察等の高分解能観察は困難である。こうした加工面の垂直方向に対する角度誤差を集束イオンビームによる観察分解能で、しかも上方からの観察で評価することは不可能であり、観察評価希望部の各厚さを正確に評価できないため、透過電子顕微鏡用試料作成の成功率は低くなる。

【0027】集束イオンビームによる加工形状や加工終了点を走査型電子顕微鏡で判断する場合、もしくは透過電子顕微鏡による観察像で判断する場合、集束イオンビーム加工と電子顕微鏡観察を交互に行うため、試料の入れ替え等に時間を要し、加工時間が長くなる。一般に加工時間は3～5時間であるのに対して観察を加えると試料交換、観察、集束イオンビーム再調整で1回最低1時間程度の時間を必要とし、2～3回の観察を加えるだけで集束イオンビーム加工の開始から終了までの所要時間の1.5から2倍となる。集束イオンビーム加工と電子

顕微鏡観察を交互に行う場合、集束イオンビームでの再加工の際に、図6(a)、(b)に示すように、試料の入れ替えによって加工方向に誤差が生じ、観察部の厚さが不均一になり、良好な観察が困難になる。電子顕微鏡では、観察分解能は数nm以下であり、イオンビームによる観察法に比べて加工部表面の厚さは正確に評価できる。但し、加工形状の観察評価、例えば加工面の垂直方向に対する角度誤差は上方からの観察で評価することは困難であり、観察希望部の正確な膜厚評価はできない。観察後、再び集束イオンビーム加工を行う際には、集束イオンビームは再調整が必要であり、条件が変わり、評価結果からのフィードバックもできない。

【0028】電子ビーム照射機能を具備した集束イオンビーム装置において、集束イオンビーム加工の終了点の判断を電子ビームにより得られる2次電子像等の観察で行う場合、イオン銃が電子銃を兼用している場合はもとより、イオン銃とは別に電子銃を持つ場合でも、集束イオンビーム加工中はイオンビーム照射によって発生する2次電子のため、電子ビームによる2次電子像観察はできない。従って、加工と観察とを同時にはできず、加工終了点を超過して加工する虞がある。加工部上方からの観察のため、加工面の垂直方向に対する傾きは正確に評価できない。

【0029】本発明は、上記のような課題を解消するためになされたもので、透過電子顕微鏡用試料の加工面の厚さを定量的にモニターして最良の試料厚さを自動的に検出でき、更に加工中に加工部の厚さの均一性が容易に判断できる透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置及び透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を提供することを目的とする。

【0030】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、前述の目的は、透過電子顕微鏡用断面試料を作成するためのイオンビームを発射するイオン銃手段と、該イオン銃手段から発射されるイオンビームに対して60度～90度程度の角度で前記透過電子顕微鏡用断面試料の加工部分に電子ビームを照射する電子銃手段と、該電子銃手段に対向して配置されかつ前記透過電子顕微鏡用断面試料を透過した電子ビームを受けて透過した電子ビームの電流量を検出する検出手段とを具備する請求項1の透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置によって達成される。

【0031】本発明によれば、前述の目的は、前記透過電子顕微鏡用断面試料を固定する位置の近傍に、イオンビーム及び電子ビームの照射により発生した2次電子を吸収する電極手段を具備する請求項2の透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置によって達成される。

【0032】本発明によれば、前述の目的は、透過電子顕微鏡による断面観察を必要とする試料を透過電子顕微

10

20

30

40

50

鏡に装着可能な厚さに切断する工程と、集束イオンビームによって更に観察領域を薄くする工程と、集束イオンビームで薄膜化を進めながら試料の加工部に電子ビームを照射する工程と、試料を透過する電子ビームの電流量を検出する工程と、前記検出した電流量に基づき試料の加工部を電子ビームにより走査して加工部の厚さの均一性を評価する工程とを具備する請求項3の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法によって達成される。

【0033】本発明によれば、前述の目的は、透過電子顕微鏡による断面観察を必要とする試料を透過電子顕微鏡に装着可能な厚さに切断する工程と、集束イオンビームによって更に観察領域を薄くする工程と、集束イオンビームで薄膜化を進めながら試料の加工部に電子ビームを照射する工程と、試料を透過する電子ビームの電流量を検出する工程と、前記検出した電流量に基づき試料の加工終了点を検出する工程とを具備する請求項4の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法によって達成される。

【0034】

【作用】請求項1の透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置によれば、イオン銃手段により集束イオンビームを試料表面に対して任意の加速電圧、ビーム電流、ビーム径で照射し、試料表面の任意の領域をラスト走査する。イオンビーム加工中に、電子銃手段により任意の加速電圧、ビーム電流、ビーム径で加工面の任意の位置に電子ビームをイオンビームに対して60度～90度程度の角度で試料に照射し、試料を透過した電子ビームを検出手段により受け、検出手段により透過した電子ビームの電流量を検出し、透過ビームの電流値が予め設定された値に達した段階で集束イオンビームにより加工を終了する。

【0035】請求項2の透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置によれば、任意の正の電圧が印加された電極手段により試料に照射された集束イオンビームによる2次電子等の電子を吸収し、検出手段に達して透過電子ビーム電流量検出の妨げとならないようにする。

【0036】請求項3の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法によれば、透過電子顕微鏡用断面試料を作成する際、透過電子顕微鏡による断面観察を必要とする試料を透過電子顕微鏡に装着可能な厚さに切断し、集束イオンビームによって更に観察領域を薄くし、集束イオンビームで薄膜化を進めながら加工部に電子ビームを照射し、その透過ビームの電流量を検出し、検出した電流値に基づき前記試料の加工部分の厚さの均一性を評価し、この評価に基づき均一な厚さの透過電子顕微鏡用断面試料を作成する。

【0037】請求項4の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法によれば、透過電子顕微鏡用断面試料を作成する際、透過電子顕微鏡による断面観察を必要とする試料を透過電子顕微鏡に装着可能な厚さに切断し、集束イオン

ビームによって更に観察領域を薄くし、集束イオンビームで薄膜化を進めながら加工部に電子ビームを照射し、試料を透過する電子ビームをモニタし、加工終了点を検出する工程により透過電子顕微鏡用断面試料を作成する。

【0038】

【実施例】以下、請求項1の透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置の実施例を図1を参照しながら説明する。本実施例は、透過電子顕微鏡用試料の加工面の厚さを定量的にモニターして最良の試料厚さを自動的に検出でき、更に加工中に加工部の厚さの均一性が容易に判断できる透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置を提供することを課題とする。

【0039】本実施例は、透過電子顕微鏡用断面試料41を配置する加工室60と、加工室60に配置された試料41にイオンビーム11を発射するイオン銃手段としてのイオン銃10と、イオン銃10から発射されるイオンビーム11に対して約90度の角度で試料41の加工部分に電子ビーム21を照射する電子銃手段としての電子銃20と、該電子銃20に対向して配置されかつ前記透過電子顕微鏡用断面試料41を透過した電子ビームを受けて透過した電子ビームの電流量を検出する検出手段としての透過電子検出器30と、前記試料41を固定する位置の近傍に試料41を囲むように配置され、かつイオンビーム11及び電子ビーム21により発生する2次電子12を吸収して正確な透過ビーム電流量が測定できなくなるのを防止する電極手段としての低電圧電極50とを具備している。

【0040】試料41は、図示しない試料導入系によって加工室60内部に搬送され、図示しないステージ駆動系によって適宜駆動されるように構成されている。イオンビーム11及び電子ビーム21はそれぞれラスト走査可能であり、図示しない2次イオン検出器あるいは2次電子検出器によりそれぞれのビームの照射領域の形状観察が行えるように構成されている。なお、本実施例の動作は後述の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例と同じなので説明を省略する。

【0041】次に、請求項3及び4の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例について図2a～図2g及び図3a～図3hを参照しながら説明する。本実施例は、透過電子顕微鏡用試料の加工面の厚さを定量的にモニターして最良の試料厚さを自動的に検出でき、更に加工中に加工部の厚さの均一性が容易に判断できる透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を提供することを課題とする。

【0042】LSIチップ41上の不良トランジスタ等を透過電子顕微鏡による断面観察／分析を希望する特定微小部42の周囲に集束イオンビーム装置あるいは顕微鏡を具備したレーザーマーカー等により、図2aに示すように、穴開けによりマーキング43を行う。なお、特定微小部42がマーキング43のためのレーザーやイオン

ビーム照射の熱的影響や穴開けの飛散物汚染を受けないように、マーキングは特定微小部42から20 μm 程度以上離れた位置に行うとよい。マーキングの大きさや深さについては、後の加工での位置確認の点では大きいほどよい反面、マーキングの際の熱や飛散物を抑える必要性から大きさは5 μm 以下程度、深さは1 \sim 5 μm 程度が良い。マーキングを参考にして、ダイシングマシン的高速回転外周61により観察または分析を所望する特定微小領域周辺を透過電子顕微鏡に導入可能な1.5mm以下程度に切断する。

【0043】この際、切断面としては、図2bに示すように、透過電子顕微鏡用の試料41の観察または分析を所望する断面と平行な面を選択する。試料41の観察/分析を所望する断面に垂直な方向の切断幅は、狭いほうが後の集束イオンビーム加工の範囲が小さくできるため、垂直な方向の切断幅は、切断時にチップ等で観察/分析を所望する特定微小部42が破損しない範囲、例えば100 \sim 200 μm 幅で狭く切断する。必要に応じて更に試料の観察/分析希望部表面近傍を、図2dに示すように、更にダイシングマシン的高速回転外周61により薄く削る。

【0044】加工したLSIチップを集束イオンビーム装置に導入する。集束イオンビーム装置内にLSIチップを導入する際、LSIチップの向きは、加工断面が集束イオンビーム装置内部の電子銃20に対して対向するように設定する。集束イオンビーム装置にてラスタ走査により観察/分析希望断面を一辺とする長方形領域81、82に集束イオンビーム11を照射し、観察/分析希望断面の薄膜化加工を行う。長方形領域81は透過電子検出器30と対向しており、長方形領域82は集束イオンビーム装置内の電子銃20と対向する断面を含む領域である。この集束イオンビーム加工に際しては、まず領域81の加工を行う。領域81の加工は段階的に集束イオンビーム11のビーム電流/ビーム径を下げながら断面加工の位置精度や加工面の均一性を高める。

【0045】一般的な加工条件は、加速電圧25 \sim 30kV、Gaイオンビームを用い、ビーム電流2000pA程度で目標とする特定微小部42から数 μm 離れた位置まで加工し、続いてビーム電流400pA程度で特定微小部42から1 μm 離れた位置まで加工する。更に、ビーム電流100pA程度で特定微小部42を含む位置まで加工し、最終的にビーム電流数十pA程度のビームで加工面の仕上げを行う。なお、集束イオンビーム11は逆円錐形であり、試料表面に対して垂直にビーム照射すると、垂直断面が得られないので、試料41をビーム条件に応じて3 \sim 5度程度傾斜して加工を行う。

【0046】領域81の加工完了後、同様の方法により領域82の加工を行う。領域82の加工において、加工部の厚さが1 μm 程度になった段階で、観察/分析希望断面にはほぼ垂直に電子ビーム21を照射し、試料の断面

加工部を透過した透過電子を透過電子検出器30により検出する。

【0047】電子ビームの加速電圧は10kV以上に設定する。シリコンの場合、加速電圧10kV以上であれば電子ビームは1 μm の厚さを透過する。よって、この電子ビーム照射により検出器30で透過電子が検出される。なお、検出器30としては、高感度で検出速度の速いチャンネルトロンなどが有効であるが、試料の材質や電子ビーム電流の設定によってファラデーカップ等も使用できる。検出器30に印加する電圧や電子ビームの電流は検出される透過電子ビーム電流に応じて適当に設定する。電子ビームを図3a、3bのように同一材料の範囲で上下、左右に操作し、この間の透過ビーム電流を検出すると、加工部の厚さが均一な場合、図3cに示すように、均一な波形が得られる。一方、図3e、3f、及び3gに示すように、加工部の厚さが不均一な場合、透過ビーム電流波形は図3dに示すような波形となる。この段階で確認された加工部の不均一は、これ以降の加工における集束イオンビーム形状や試料角度等の補正で最終的に修正可能である。

【0048】透過ビーム電流検出を続けながら集束イオンビーム加工により領域82の加工を行う。加工分の厚さが薄くなるにつれて透過ビーム電流が増加する。検出される透過ビーム電流の増加に合わせて電子ビーム21の加速電圧を段階的に下げると、図3hに示すように、電子ビームの透過厚さも下がるので、適切に加速電圧を選択すれば透過ビーム電流変化によって加工部の厚さの変化を正確に検知できる。シリコン材料の場合、最終的な電子ビーム21の加速電圧を3kV以下程度に設定すれば、透過ビーム電流の値で500 \sim 1000A程度の厚さを検出できる。事前に良好な透過電子顕微鏡試料を用いて透過電流量の条件出しを行い、加工終了点とする透過ビーム電流量を決定しておけば、自動的に加工終了点を検知できる。

【0049】なお、この透過電子ビーム検出の際には、低電圧電極50に正の低い電位を与え、集束イオンビーム照射によって発生する多量の2次電子12を回収することで、透過電子ビーム電流検出精度劣化を防止し、集束イオンビーム照射中でも透過電子ビーム電流検出が可能となり、加工の超過を防ぐ。

【0050】また、イオンビームや電子ビームへの悪影響を防ぐため、低電圧電極50の材料には非磁性金属を用い、磁化を防ぐ。低電圧電極50に印加する電圧は、数kV \sim 30kV程度の集束イオンビームや電子ビーム軌道に影響を与えず、かつ集束イオンビーム照射で発生した数十eVの2次電子の回収効率が上がるように+数十Vに設定する。

【0051】領域81を先に加工する理由については、透過電子検出器30と対向する断面側の加工領域81に集束イオンビーム11を照射している状態では、集束イ

オンビームの散乱イオンが透過電子検出器 30 側に入り、正確な透過ビーム電流値が測定しにくいため、透過電子検出器 30 側の断面の加工領域を先に完了させ、集束イオンビームの散乱イオンが検出器 30 に入りにくい領域 82 の加工段階で透過ビーム電流量検出による加工部の厚さ評価や終了点検出を行うためである。

【0052】試料 41 の分析／観察希望部を中心に、図 2 g に示すように、透過電子顕微鏡用メッシュ 80 に貼る。透過電子顕微鏡により試料 41 の観察分析を行う。以上、集束イオンビームによる加工について述べたが、加工部の膜厚や膜厚均一性の評価としてイオンミリング等の加工においても使用可能である。

【0053】

【発明の効果】請求項 1 記載の透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置及び請求項 3、4 記載の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法によれば、均一な厚さの観察断面を形成することができると共に加工の超過を防止することができる。これにより、加工部の厚さのばらつきが 50% 以下の精度で検出でき、これを加工段階で修正できるため、最終段階では加工部の厚さのばらつきを 50 nm 以下にでき、加工領域内のほぼ全域で高分解能観察を行うことができる。断面試料作成において試料厚さが数値化して検出できるので、材料毎に条件出しを行えば、オペレータの熟練度に影響なく最適な厚さの透過電子顕微鏡試料作成が行える。

【0054】請求項 2 の透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置によれば、イオンビーム及び電子ビームの照射により発生した 2 次電子が透過電子検出器に検出されて透過電子ビーム電流検出精度が劣化することを防止できる。また、集束イオンビーム照射中でも透過電子ビーム電流検出が可能となり、集束イオンビーム照射中でも加工の超過を防止することができる。これにより、断面試料の加工精度が向上できると共に、断面試料の作成を容易に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成用集束イオンビーム装置の実施例を示す概略構成図である。

【図 2 a】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 2 b】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 2 c】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 2 d】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 2 e】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 2 f】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 2 g】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法

の実施例を示す図である。

【図 3 a】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 3 b】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 3 c】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 3 d】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

10 【図 3 e】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 3 f】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 3 g】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 3 h】本発明の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法の実施例を示す図である。

【図 4 a】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

20 【図 4 b】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【図 4 c】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【図 4 d】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【図 4 e】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【図 4 f】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

30 【図 4 g】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【図 5 a】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【図 5 b】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【図 5 c】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【図 5 d】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

40 【図 5 e】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【図 5 f】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【図 5 g】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【図 6】従来の透過電子顕微鏡用断面試料作成方法を示す図である。

【符号の説明】

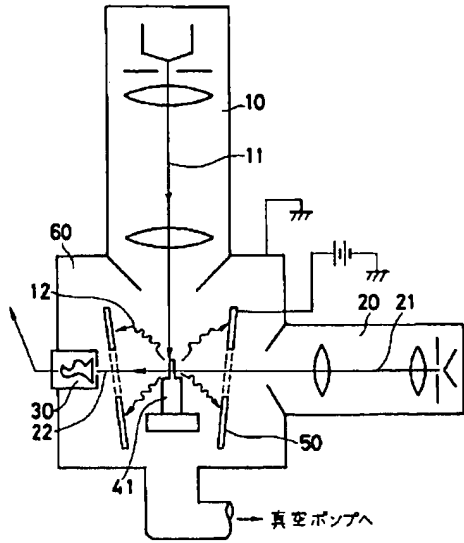
10 イオン銃

20 電子銃

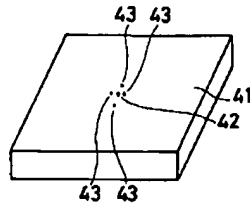
30 透過電子検出器
40 試料

* 50 低電圧電極
*

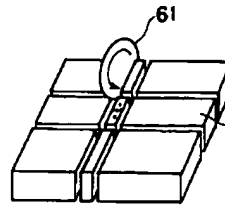
【図1】



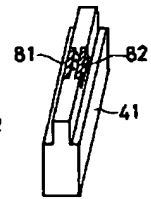
【図2 a】



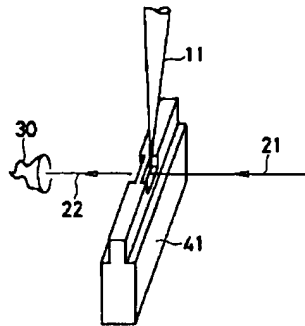
【図2 b】



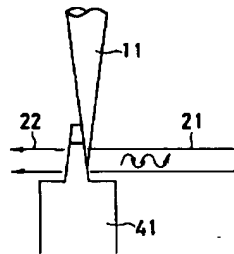
【図2 e】



【図2 f】

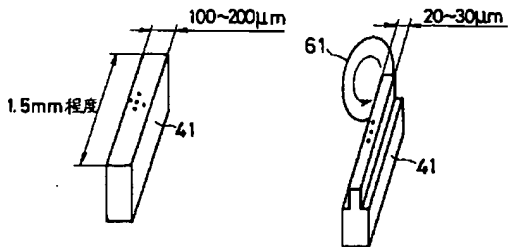


【図3 e】

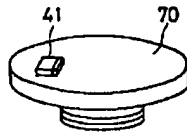


【図2 c】

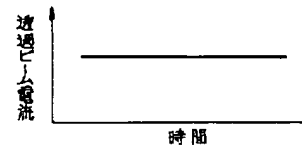
【図2 d】



【図4 d】



【図3 c】

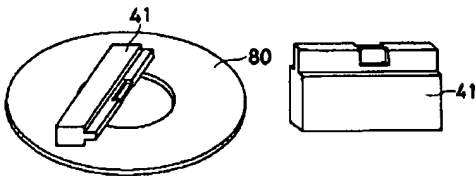


【図2 g】

【図3 a】

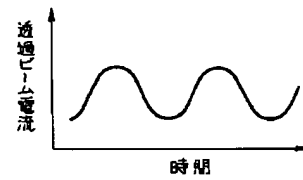
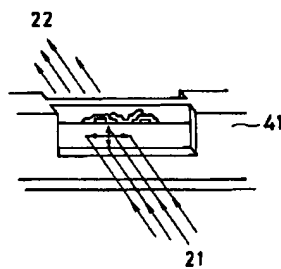
【図3 b】

【図3 d】

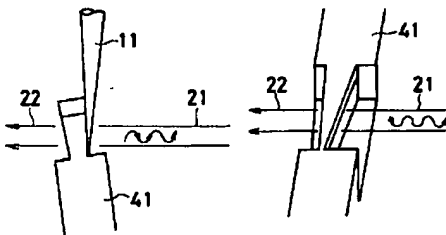
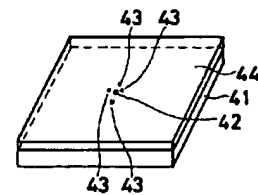


【図3 f】

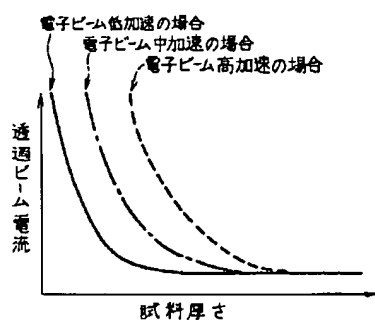
【図3 g】



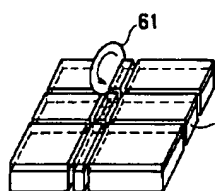
【図4 a】



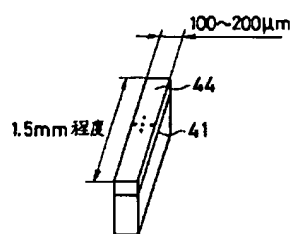
【図3h】



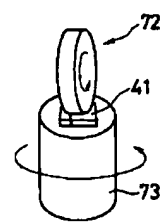
【図4b】



【図4c】

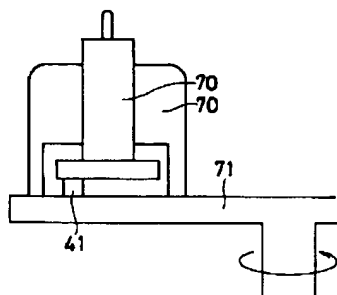


【図4f】

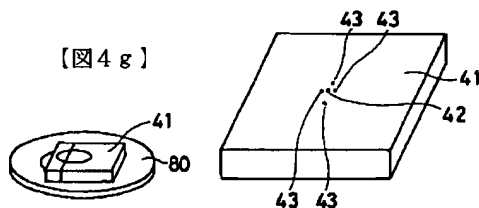


【図5a】

【図4e】



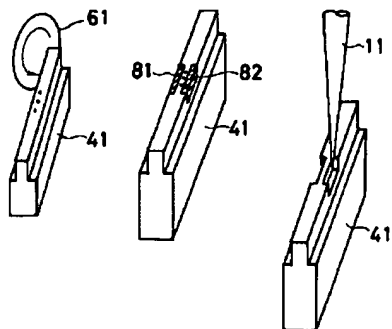
【図4g】



【図5d】

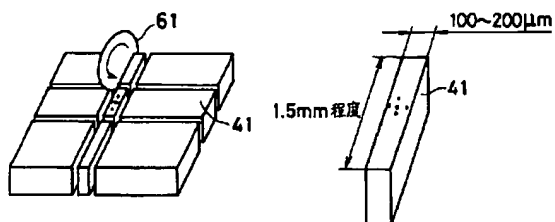
【図5e】

【図5f】

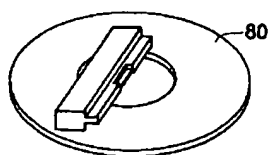


【図5b】

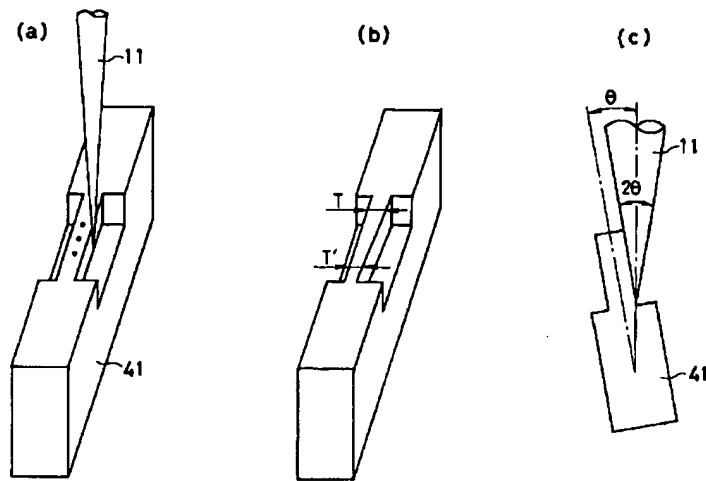
【図5c】



【図5g】



【図 6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶
H 0 1 J 37/31

識別記号

庁内整理番号
9172-5E

F I

技術表示箇所